

EFFETS DE L'INCORPORATION DE LA FARINE DE TOMATE DANS L'ALIMENTATION DU TILAPIA DU NIL (*Oreochromis niloticus*, L., 1758) EN ELEVAGE DANS LES EAUX GEOTHERMALES DU SUD TUNISIEN

Mohamed Salah AZAZA,^{1*} F. MENSI,¹ I. IMOROU TOKO,^{2,3} M.N. DHRAIEF,¹ A. ABDELMOULEH,¹ B. BRINI¹ et M.M. KRAÏEM¹

¹Institut National des Sciences et Technologies de la Mer 2025 Salammbô –Tunisie.

²Unité de Recherche sur les Zones Humides, URZH/FAST/UAC, 01BP526 Cotonou, Bénin.

³Unité de Recherches en Biologie des Organismes Rue de Bruxelles, 61 B-5000, Namur, Belgique.

* E-mail: azaza.med@instm.rnrt.tn

ملخص

تأثير إدماج مسحوق مخلفات الطماطم في تغذية سمك البلطي النيلي المربي في المياه الجيوحرارية بالجنوب التونسي: في نطاق الحد من تكلفة إنتاج الأسماك المستزرعة وتماشيا مع المنهجية الرامية إلى استبدال مكونات الأعلاف السمكية التقليدية المرتفعة الأسعار، بموارد علفية أخرى ذات قيمة غذائية مرضية و أقل ثمنا ومتوفرة في المخلفات الزراعية أو الصناعية، قمنا بتجربة لدراسة إمكانية استعمال فواضل إنتاج الطماطم في أعلاف سمك البلطي النيلي كبديل لمادة الصوجا.

تتمثل هذه العملية في استنباط تركيبات علفية A_0 (علف قياسي)، A_{10} ، A_{20} و A_{30} تحتوي على نسب مختلفة من فواضل إنتاج الطماطم 0%، 10%، 20% و 30% على التوالي وتجربتها على أسماك البلطي ذات وزن أولي يقدر بـ 20.54 غ لمدة 75 يوما.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن معدل الوزن النهائي للأسماك تراوح بين 98.62 غ و 129.77 غ حسب الغذاء المقدم. وأن التركيبات العلفية A_0 ، A_{10} و A_{20} سجلت أحسن معدلات النمو الخاصة إذ تراوحت بين 2.43 و 2.46 % مقارنة بـ 2.10 % بالنسبة للتركيبات A_{30} وتراوحت معدلات التحويل الغذائي بين 1.48 و 1.56 بالنسبة لـ A_0 ، A_{10} و A_{20} مقارنة بـ 2.11 بالنسبة لـ A_{30} .

في ما يخص فاعلية الهضومية للمكونات البروتينية لهذه الأعلاف، لاحظنا أنها تنخفض مع ارتفاع نسب إدماج مسحوق الطماطم، حيث تراوحت بين 90.11 %، بالنسبة للعلف القياسي و 73.69 % بالنسبة للعلف A_{30} . أبرزت كذلك النتائج المسجلة أن إدماج فواضل إنتاج الطماطم إلى حد 20 % في التركيبة العلفية لسمك البلطي يمكننا من ربح يقدر بـ 15.18 % من التكلفة المخصصة للتغذية مع الحفاظ على نفس فاعلية العلف القياسي. الكلمات المفتاحية: البلطي النيلي، التسمين، التغذية، المواد الأولية، مسحوق الطماطم، الصوجا، الهضومية، العوامل الضد-غذائية.

RESUME

Afin de réduire le coût des aliments aquacoles, nous avons procédé à la substitution d'une matière première végétale importée: le tourteau de soja (TS) par un sous produit local : la farine de tomate (FT).

L'expérience est menée sur des juvéniles de Tilapia (*Oreochromis niloticus*) monosex masculin ayant un poids moyen initial de $20,54 \pm 0,08$ g. (poids moyen $\pm$ ES), et elle consiste à tester 4 régimes alimentaires isoprotéiques (27 % de protéines) et isoénergétiques (17 KJ/g) contenant différents taux de farine de tomate: 0 % (aliment témoin), 10 %, 20 % et 30 % noté respectivement A_0 , A_{10} , A_{20} et A_{30} . Ces aliments sont testés, durant 75 jours.

A la fin de l'expérience les poids moyens finaux ont atteint des valeurs comprises entre 98,62 g et 129,77 g selon les traitements. Les meilleures croissances et transformations alimentaires ont été obtenues avec les aliments A_0 , A_{10} et A_{20} (taux de croissance spécifiques : TCS respectifs = 2,46, 2,44 et 2,43 % et taux de conversion alimentaire : TCA respectifs = 1,48, 1,51 et 1,56), tandis qu'avec l'aliment A_{30} on a obtenu un TCS de 2,10 % et un TCA de 2,11. Les coefficients d'utilisation digestive apparents (CUDa) des protéines diminuent avec l'incorporation graduelle de la FT. Ces valeurs varient entre 90,11 %, chez les poissons nourris avec le régime A_0 , et 73,69 % chez ceux nourris avec le régime A_{30} .

En définitive, et au regard des analyses de rentabilité économique, les résultats obtenus, ont montré que l'incorporation de ce sous-produit (FT) à un taux de 20 % entraîne un gain de 15,18 % sur les charges financières liées au poste de l'alimentation sans causer de préjudice à la croissance des poissons. Ainsi, la substitution partielle du tourteau de soja par la farine de tomate est possible et avantageuse. Elle permet, en outre, la réduction des charges liées à l'alimentation du Tilapia et à la valorisation de ce sous-produit.

Mots clés: *Oreochromis niloticus*, grossissement, nutrition, farine de tomate, tourteau de soja, digestibilité, facteurs antinutritionnels.

ABSTRACT

Effects of incorporation of dietary tomato feedstuff on nutrition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L., 1758) reared in geothermal waters in southern Tunisia : In order to develop low cost nutritionally balanced diets for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*), attempts have been made to replace conventional feed ingredients with less expensive, locally available unconventional protein and carbohydrate sources, from agro-industrial residues. The present work was conducted over 75 days-period to evaluate tomato meal (TM) as soybean meal (SBM) substitute in diet for Nile Tilapia. The TM was included in the diets at various levels of 0 %, 10 %, 20 % and 30 % (diets A₀, A₁₀, A₂₀ and A₃₀, respectively). Four isonitrogenous (27 % crude protein) and isocaloric diets (17.0 KJ/g) were prepared and fed fish initially weighing 20.54 ± 0.08 g with three replications for each treatment.

There were no significant differences ($P > 0.05$) in growth performance among fish fed with diets A₀, A₁₀ and A₂₀. However, fish fed with diet A₃₀ had significantly lower growth ($P < 0.05$) than those fed diets A₀, A₁₀ and A₂₀. Fish fed with the control diet (A₀) and diets including 10 % and 20 % TM had significantly ($P < 0.05$) better daily weight gain (DWG), relative growth weight (RGW), specific growth rate (SGR) and protein efficiencies ratio (PER) than those fed with diet A₃₀. Feed conversion ratio (FCR) increase with increasing TM content, but only the value found in fish fed with diet A₃₀ differed significantly ($P < 0.05$) from all other treatments. Survival rates (SR) is ranged between 95.55 % and 97.77 %, however, no feed related mortality was observed during the whole experimental period.

Apparent protein digestibility (APDs) in diets ranged from 90.11 % to 73.69 % with diet A₃₀ producing the lowest. In general, APD values decreased with increasing inclusion levels of TM that is explained by increasing of anti-nutritional factors (ANFs) and high non-digestible fibre content.

Results showed that this product can be included by up to 20 % in practical male Nile Tilapia diets without any detrimental effects.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, growth, nutrition, tomato meal, soybean meal, digestibility, Antinutritional factors.

INTRODUCTION

Selon les dernières statistiques de la production mondiale des poissons d'eau douce (FAO, 2003), les tilapias occupent le troisième rang après les cyprinidés et les salmonidés, avec un taux d'accroissement annuel de 13,9 % (1970–2000) et une production de 1,256 Millions de tonnes en 2002 dont 82 % de la production totale est représentée par l'espèce *Oreochromis niloticus*.

Cette espèce a été introduite en Tunisie pour l'élevage intensif dans les eaux géothermales du sud. Ceci a d'une part permis l'accroissement de la production nationale des poissons d'eau douce qui, jusqu'ici provient principalement de l'exploitation extensive des lacs de barrages (qui est axée essentiellement sur le Mulet et le Sandre). D'autre part, cette activité contribue d'une façon efficace à la valorisation des importantes ressources en eaux géothermales du sud tunisien, tout en apportant une nouvelle source de protéines dans les régions intérieures, défavorisées et mal desservies en poissons.

En aquaculture intensive, le poste alimentation représente une part importante du coût de la production des poissons. L'intérêt économique de ce type d'élevage est donc très dépendant de la disponibilité et du coût des aliments (Tacon, 1996; Hoffman *et al.*, 1997). Ainsi, la réduction des charges liées à l'alimentation, et par conséquent la maîtrise du coût de production des poissons d'élevage, est l'une des priorités en aquaculture (Watanabe, 2002). Par ailleurs, pour satisfaire les besoins alimentaires des animaux d'élevage, bétail et volailles, la Tunisie

importe près de 90 % des matières premières nécessaires pour la fabrication des aliments concentrés notamment le maïs et le tourteau de soja (Absi, 1998).

Le tourteau de soja est la composante principale des aliments standards pour l'élevage des tilapias (Lovell, 1988; NRC, 1993). Il est riche en macronutriments indispensables, mais son prix d'achat élevé et sa dépendance à l'importation ne rendent son utilisation possible que dans le cas d'une production aquacole à haute valeur ajoutée. Dès lors, les aquaculteurs doivent avoir recours à d'autres sources alternatives de protéines, en particulier végétales, qui ne sont pas directement utilisables pour la consommation humaine (Shiau *et al.*, 1987; Jackson *et al.*, 1982; El-sayed, 1990), et qui fournissent aux organismes l'ensemble des éléments requis pour leur croissance et leur survie. Il est donc évident que la formulation de régimes alimentaires à un moindre coût soit un critère déterminant pour le développement de l'élevage de cette espèce en Tunisie.

Par ailleurs, un enjeu majeur en nutrition des poissons est la diminution de l'utilisation des matières premières conventionnelles d'origine animale et végétale et leur substitution partielle ou totale par des sous produits agro-industriels. Ces matières premières dites non conventionnelles, constituent des sources de protéines et d'énergie intéressantes et sont connues pour substituer avec succès tant sur le plan zootechnique qu'économique des protéines issues des farines de poissons ou du tourteau de soja chez plusieurs espèces de poissons (Siddhuraju et Becker,

2001; Glencross *et al.*, 2004; Kenan et Chris., 2005; Wang *et al.*, 2006; Zhou *et al.*, 2006).

Chez les tilapias, plusieurs auteurs ont essayé de remplacer les matières premières conventionnelles par des substituts agro-industriels dans des formules alimentaires qui supporteraient des croissances et une utilisation alimentaire similaires à celles basées sur des ingrédients conventionnels. Il s'agit le plus souvent de : la farine de graines et de feuilles de luzerne (Olevera-Novoa *et al.*, 1990; Yousif, 1994; Richter *et al.*, 2003; Liebert et Portz, 2005), la farine d'algues (Appler et Jauncey, 1983), la farine de coco (Pouomogne *et al.*, 1997; Falaye et Jauncey, 1999), le pulpe de café (Rojas et Verreth, 2003), le tourteau de coton (Mbahinzireki *et al.*, 2001), le tourteau de colza (Davies *et al.*, 1990), le tourteau d'arachide et de copra (Jackson *et al.*, 1982) et les farines de déchets de viande et de volaille (Sadiku et Jauncey, 1995; Rodriguez-Serna *et al.*, 1996; Middleton *et al.*, 2001; Fasakin *et al.*, 2005; Cavalheiro *et al.*, 2006).

C'est dans cette optique que s'oriente notre objectif qui consiste à élaborer des aliments à moindre coût, et d'étudier leurs performances nutritionnelles dans l'alimentation du Tilapia en grossissement. La diminution du prix de ces aliments se fait par le remplacement d'une proportion significative de tourteau de soja, produit importé à un prix élevé, par la farine de tomate qui est un sous produit disponible localement à des quantités importantes à la fin de la saison de sa culture. De plus une analyse des poissons entiers sera faite en début et en fin d'expérience pour mettre en évidence d'éventuelles différences de composition et donc de qualité. Enfin une expérience annexe permettra de mieux appréhender la valeur nutritionnelle des régimes testés.

MATERIEL ET METHODES

Procédure expérimentale

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale d'élevage des poissons dans les eaux géothermales de l'INSTM à Béchima dans le gouvernorat de Gabès.

Les ingrédients conventionnels utilisés au cours de cette étude sont le tourteau de soja (TS), la farine de poisson (FP) et le maïs (M) qui ont été procurés du marché local. La tomate est récoltée comme déchet de production d'une société privée de culture sous serre dans la région d'Elhamma. Ces déchets sont coupés en morceaux, séchés au soleil et enfin moulue à l'aide d'un hachoir à marteau. L'analyse de la composition biochimique de ces ingrédients est présentée dans le tableau I.

Tableau. I : Composition biochimique des ingrédients (exprimée en % de la matière sèche).

¹ par rapport à la matière fraîche.

	FT	TS	FP	M
Composition (% MS)				
Matière sèche ¹	86,22	88,96	91,47	86,12
Protéines	13,92	43,50	47,21	7,84
Lipides	4,08	1,38	1,62	1,43
Fibres	19,32	6,60	0,95	6,59
Cendres	16,85	5,80	28,14	1,32
ENA ²	32,05	31,68	13,55	68,94
Calcium (g/Kg)	0,88	0,29	6,31	0,03
Phosphore (g/Kg)	0,52	0,71	3,89	0,25
AAE (g/100 g MS) ³				
Lysine	0,49	2,79	5,05	0,17
Valine	0,36	1,41	3,91	0,30
Leucine	0,71	3,53	4,62	0,80
Histidine	0,15	0,98	1,48	0,17
Arginine	0,44	3,48	3,15	0,30
Thréonine	0,63	1,68	3,32	0,20
Isoleucine	0,44	1,61	2,11	0,25
Méthionine + Cystéine	0,27	1,08	2,31	0,28
Tryptophane	0,09	0,69	0,91	0,06
Phénylalanine	0,21	1,83	2,73	0,58

² Extractif Non Azoté = 100 % - (% lipide + % teneur en eau + % protéines + % fibres + % cendres).

³ Acides aminés essentiels.

Quatre régimes alimentaires, A₀, A₁₀, A₂₀ et A₃₀, isoprotéiques (27 %) et isoénergétiques (17 KJ/g) ont été élaborés pour l'alimentation du tilapia en phase de grossissement. Dans ces régimes, la farine de tomate est incorporée graduellement à des taux respectifs de 0%, 10%, 20% et 30%. Le tableau II présente la formulation des régimes alimentaires, les résultats des analyses biochimiques des aliments, leurs valeurs énergétiques, leurs profils en acides aminés et leurs teneurs en facteurs antinutritionnels.

Les ingrédients bruts sont finement broyés et tamisés à travers des mailles de 400 micromètres d'ouverture. Pour chaque aliment les ingrédients ont été pesés et mélangés jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène à laquelle on ajoute l'huile végétale et le complexe minéraux-vitamines (CMV). De l'eau a été ensuite ajoutée à raison de 60 % de matière sèche, de manière à former une pâte malléable qui, passée à travers la filière d'un hachoir à viande (TC 22SL), donne des filaments de 3 mm de diamètre (spaghettis). Ces filaments sont par la suite séchés au soleil, fragmentés à la taille désirée, ensachés et stockés à une température de - 10°C jusqu'à la distribution.

Ces aliments ont été testés sur des juvéniles mâles de *Tilapia Oreochromis niloticus*, d'un poids moyen initial de 20,54 ± 0,08 g (Poids moyen ± ES). Un lot

Tableau II: Formulation et composition biochimique des régimes alimentaires testés.

		Régimes alimentaires			
		A ₀	A ₁₀	A ₂₀	A ₃₀
Ingrédients (%)					
Farine de poisson		14	14	14	14
Tourteau de soja		45	40	35	30
Maïs		35	30	25	20
Farine de tomate		0	10	20	30
Huile végétale		4	4	4	4
CMV ¹		1,5	1,5	1,5	1,5
Oxyde de chrome ²		0,5	0,5	0,5	0,5
Composition biochimique (% MS)					
Matière sèche (% de la matière d'origine)		89,84	88,46	90,89	91,85
Protéines		27,82	27,18	26,93	26,64
Lipides		5,55	6,11	6,94	7,32
Fibres		6,79	8,15	10,00	14,17
Cendres		5,94	8,06	12,12	13,52
ENA		43,74	38,96	34,90	30,20
Calcium (g/Kg)		0,88	1,09	1,85	2,13
Phosphore (g/Kg)		1,01	0,78	0,69	0,42
Energie brute (KJ/g) ⁴		17,84	17,34	17,28	17,38
Prix (DT/Kg) ⁵		0,535	0,482	0,434	0,381
facteur Antinutritionnel (% DM)					
Acide tannique		0,15	0,19	0,23	0,31
Acide phytique		0,29	0,62	1,14	2,03
Saponines		0,83	1,33	2,11	3,23
inhibiteur de la trypsine ⁶		0,13	0,14	0,09	0,08
AAE (g/100g MS)	***				
Lysine	1,43	1,61	1,77	0,75	0,43
Valine	0,78	1,33	1,00	1,08	1,16
Leucine	0,95	1,89	1,12	0,81	0,52
Histidine	0,48	0,76	0,51	0,54	0,33
Arginine	1,18	0,98	0,78	0,66	0,49
Thréonine	1,05	1,52	0,96	0,62	0,78
Isoleucine	0,87	0,97	0,95	1,14	0,61
Méthionine + Cystéine	0,91	1,34	1,05	0,78	0,38
Tryptophane	0,28	0,29	0,30	0,22	0,11
Phénylalanine	1,56	1,55	1,48	1,50	1,09

¹Vitamin premix (mg or IU. kg⁻¹): Vit A, 250000 UI; Vit D₃, 62500 UI; Vit K₃, 100 mg; Vit B₁, 41 mg; Vit B₂, 150 mg; Vit B₆, 90 mg; Vit B₁₂, 0,33 mg; Calpan, 175 mg; Ac Folique, 20 mg; Biotine, 2 mg; Choline, 2500 UI.

Mineral premix (mg.Kg⁻¹): Fe, 1.5 g; Cu, 0.2 g; Mn, 1.75 g; Zn, 1.25 g; I, 0.01 g; Se, 0.0075 g; Co, 0.008 g; P, 0.082 g; Ca, 0.24 g; Na, 0.35 g.

² Cr₂O₃ utilisé seulement pour l'expérience annexe de la digestibilité.

⁴ Schiemann *et al.*, (1971, in Blum *et al.*, 1984).

⁵ l'estimation du prix est basée sur le coût des matières premières conventionnelles.

⁶ mg trypsine brute inhibé / g d'échantillon.

*** Besoin en AAE, selon Santiago et Lovell (1988).

de 372 alevins ont été pesés individuellement et répartis aléatoirement dans 12 bassins de 400 l de volume utile, soit 31 poissons par bassin, formant ainsi quatre traitements en triplicata correspondant chacun à un régime alimentaire. Les poissons sont stockés dans les bassins 10 jours avant le début de l'expérience pour les acclimater aux nouvelles

conditions d'élevage. Les bassins sont alimentés en eau géothermale en circuit ouvert ayant une température constante de 29°C ± 1°C avec un débit de 5 à 7 l/mn, soit un taux de renouvellement d'eau moins une fois par heure, assurant un taux d'oxygène supérieur à 80 % de la saturation.

Les poissons sont nourris, manuellement, avec les aliments expérimentaux à satiété, à raison de quatre repas par jour, (8 h 00, 11 h 00, 14 h 00 et 17 h 00), 7 jours sur 7. Ils étaient considérés à satiété quand ils ne prêtaient plus aucune attention aux granulés. Tous les 15 jours les poissons sont pesés à 0,1 g près et une rotation des bacs est effectuée pour supprimer l'effet bac.

Une expérience annexe a permis d'évaluer la digestibilité des régimes alimentaires. Elle a été réalisée à la suite de l'expérience principale. La digestibilité apparente des aliments a été estimée par le coefficient d'utilisation digestive apparent (CUDA) par la méthode indirecte en utilisant l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) comme marqueur inerte. La récolte de la matière fécale se fait par la technique de dissection décrite par Fernandez *et al.* (1996). Les fèces relatifs à chaque régime sont conservés dans des boîtes, puis congelés à -20°C . Ces échantillons ont été lyophilisés et conservés pour permettre des analyses postérieures.

Les résultats de cette analyse ont permis de calculer le Coefficient d'Utilisation Digestive apparent (CUDA) de l'aliment exprimé en matière sèche par la formule suivante :

$$\text{CUDA}_{\text{Matière sèche}} = 100 (1 - (\% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ dans l'aliment} / \% \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ dans les fèces})).$$

Le CUD apparent des protéines a été calculé par la formule suivante :

$$\text{CUDA}_{\text{Protéines}} = 100 (1 - ((\% \text{MA}) (\% \text{PF}) / (\% \text{MF}) (\% \text{PA}))).$$

MA: $\% \text{Cr}_2\text{O}_3$ dans l'aliment; MF: $\% \text{Cr}_2\text{O}_3$ dans les fèces; PA: teneur en protéines dans l'aliment; PF: teneur en protéines dans les fèces.

Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques (protéines, lipides, teneur en eau, fibres et cendres) ont été effectuées en triplicata selon les méthodes standards de l'AOAC (1999) et ont concerné les ingrédients, les 4 aliments expérimentaux, les carcasses homogénéisées de 12 poissons entiers prélevés en début d'expérience, soit 1 poisson par bassin, et les carcasses homogénéisées de 4 poissons entiers prélevés aléatoirement en fin d'expérience dans chacun des 12 bassins expérimentaux, soit 12 poissons par régime.

Les protéines brutes ($\% \text{N} \times 6,25$) sont dosées par la méthode de Kjeldahl (auto-analyseur Kjeld-foss), les lipides par la méthode à chaud (type Soxhlet), pour l'extraction des lipides un mélange de chloroforme:méthanol (2:1 v/v) est utilisé (Folch *et al.*, 1957). La cellulose brute est analysée par la méthode de Weende (hydrolyse acide et alcaline). La matière sèche est déterminée par mesure de la perte de poids après séchage durant 24 h à l'étuve à 105°C . Les cendres sont déterminées après incinération des échantillons au four à moufle à 550°C pendant 12 heures. La teneur en glucide, assimilée à l'extractif

non azoté (ENA), est déterminée par différence à partir des valeurs trouvées pour les autres constituants du régime. L'énergie brute des régimes expérimentaux a été calculée selon Schiemann *et al.* (1971, in Blum *et al.*, 1984). Les acides aminés ont été analysés au moyen d'un analyseur d'acides aminés (type Beckman 3600 Fullerton, CA, USA). Le tryptophane a été analysé par la méthode décrite par Basha et Roberts (1977). Le calcium a été dosé par absorption atomique au moyen d'un spectrophotomètre à flamme (Philips PU9200X atomic absorption spectrophotometer) après digestion acide (acide nitrique, 1,4 N) des échantillons (Wolf *et al.*, 2003) et le phosphore par la méthode d'ammonium-molybdate après digestion acide (acide nitrique, 1N) des échantillons préalablement incinérés (550°C).

Concernant le dosage des facteurs antinutritionnels, les teneurs en acide phytique des aliments ont été déterminées après extraction acide (H_2SO_4 , 3%) et mesure spectrophotométrique après hydrolyse enzymatique (phytase provenant d'*Aspergillus ficum*, Sigma Aldrich P-9792, 1,1 unité/mg) des extraits selon la méthode de March *et al.* (1995). Le dosage des tannins a été effectué par spectrophotométrie après leur extraction au moyen de solvants organiques en milieu acide selon la méthode d'Aganda et Mosase (2001). L'inhibiteur de la trypsine a été déterminé par la méthode de Bergmeyer (1965) avec le N-Benzoylarginine-p-nitroanilide (BAPNA) comme substrat. La concentration en oxyde de chrome des régimes et des matières fécales a été déterminée par spectrophotométrie après digestion acide selon Furukawa et Tsukahara (1966).

Analyses statistiques

Pour l'analyse des résultats statistiques, les données biométriques pour chaque répétition sont considérées comme une observation. Ces résultats sont comparés statistiquement par l'analyse de la variance à un critère (ANOVA I) selon un plan factoriel complètement aléatoire par la procédure GLM du logiciel Statistica® version 5.1 (Statsoft, Tulsa, USA) après vérification préalable de l'homogénéité des variances et de la normalité des données à analyser. Lorsque l'ANOVA se révélait significative, le test du Duncan est utilisé pour la comparaison pariée des moyennes. Pour ces comparaisons, un seuil de signification de 5 % est retenu.

RESULTATS

Les aliments testés ont été acceptés par les poissons et ont présenté, sur le plan physique, une meilleure cohésion des granulés que l'aliment témoin. La farine de tomate incorporée a bien joué aussi le rôle de liant. Concernant l'état général des poissons, et tout au long de l'expérience, les poissons n'ont présenté aucun

signe pathologique et n'ont pas subi de mortalités élevées. Les taux de survie moyens en fin de l'expérience, sont compris entre 95,55 % et 97,77 %. L'analyse statistique montre que la différence entre les taux de survie des différents lots n'est pas significative ($P > 0,05$), ceci permet d'attribuer les mortalités enregistrées plutôt aux manipulations lors des relevés biométriques qu'à la composition des régimes alimentaires.

Les profils en acides aminés des protéines des différents régimes expérimentaux (Tableau II) sont théoriquement satisfaisants quand on les compare aux besoins du Tilapia en général (Santiago et Lovell, 1988). Toutefois on peut constater que l'incorporation de 30 % de la farine de tomate dans le régime diminue de façon remarquable la concentration de certains acides aminés indispensables (lysine, méthionine, thréonine, phénylalanine).

Les résultats des paramètres zootechniques et de l'efficacité de transformation des aliments chez *Oreochromis niloticus* au cours de grossissement sont regroupés dans le tableau III et la figure 1.

Cette dernière illustre les courbes de croissance obtenues pour les divers traitements. Deux groupes peuvent être distingués : le premier relatif aux aliments A₀, A₁₀ et A₂₀, montre un taux de croissance élevé qui se maintient tout au long de l'expérience; le second relatif à l'aliment A₃₀ qui se distingue

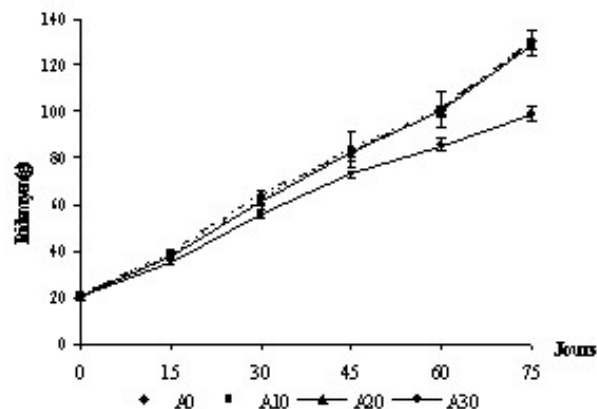


Fig. 1. Evolution du poids moyen corporel d'*Oreochromis niloticus* monosex masculin nourris avec les différents régimes expérimentaux (A₀, A₁₀, A₂₀ et A₃₀). Chaque point représente la moyenne de 3 répétitions. Les barres verticales représentent $\pm$ ESM, $n = 3$).

nettement du premier à partir du 30^{ème} jour de l'expérience et se caractérise par un ralentissement de la croissance, en particulier lors des deux dernières quinzaines.

Les données obtenues en fin d'expérience (Tableau III) montrent que les poids moyens finaux des poissons varient entre $98,62 \pm 3,61$ g et $129,77 \pm 5,30$ g respectivement avec le régime A₃₀ et A₀ (témoin).

Tableau III: Performances zootechniques des différents lots d'*Oreochromis niloticus* nourris avec quatre régimes alimentaires durant 75 jours d'expérimentation.

Les résultats sont exprimés en : Moyenne $\pm$ ESM de trois répétitions¹.

Variables	Régimes alimentaires			
	A ₀	A ₁₀	A ₂₀	A ₃₀
PMI (g)	20,42 $\pm$ 0,09 ^a	20,74 $\pm$ 0,07 ^a	20,62 $\pm$ 0,03 ^a	20,39 $\pm$ 0,03 ^a
PMF (g)	129,77 $\pm$ 5,30 ^a	129,36 $\pm$ 2,59 ^a	128,29 $\pm$ 2,52 ^a	98,62 $\pm$ 3,61 ^b
TS (%) ²	96,66 $\pm$ 2,31 ^a	97,77 $\pm$ 2,66 ^a	96,66 $\pm$ 2,31 ^a	95,55 $\pm$ 1,33 ^a
GPR (%) ³	535,36 $\pm$ 24,58 ^a	523,73 $\pm$ 14,66 ^a	522,18 $\pm$ 13,11 ^a	383,69 $\pm$ 16,82 ^b
GP (g/j/ind) ⁴	1,46 $\pm$ 0,07 ^a	1,45 $\pm$ 0,03 ^a	1,43 $\pm$ 0,03 ^a	1,04 $\pm$ 0,04 ^b
TCS (%/j) ⁵	2,46 $\pm$ 0,05 ^a	2,44 $\pm$ 0,03 ^a	2,43 $\pm$ 0,02 ^a	2,01 $\pm$ 0,04 ^b
TCA (g/g) ⁶	1,48 $\pm$ 0,08 ^a	1,51 $\pm$ 0,05 ^a	1,56 $\pm$ 0,05 ^a	2,11 $\pm$ 0,12 ^b
Ra (g/j) ⁷	60,84 $\pm$ 4,61 ^a	61,45 $\pm$ 3,12 ^a	59,22 $\pm$ 4,77 ^a	59,77 $\pm$ 5,12 ^a
CEP ⁸	2,11 $\pm$ 0,11 ^a	2,04 $\pm$ 0,07 ^a	1,96 $\pm$ 0,08 ^a	1,50 $\pm$ 0,04 ^b
CUA (DT) ⁹	0,79 $\pm$ 0,08 ^a	0,72 $\pm$ 0,05 ^b	0,67 $\pm$ 0,05 ^c	0,80 $\pm$ 0,12 ^d
CUD _{matière sèche} (%)	71,44 $\pm$ 0,89 ^a	66,23 $\pm$ 2,05 ^a	60,82 $\pm$ 1,57 ^b	53,36 $\pm$ 1,86 ^c
CUD _{protéines} (%)	90,11 $\pm$ 2,74 ^a	86,65 $\pm$ 1,92 ^b	81,55 $\pm$ 3,33 ^c	73,69 $\pm$ 2,15 ^d

¹ Sur chaque ligne, les moyennes $\pm$ ESM, affectées par des lettres différentes, sont significativement différentes ($P < 0,05$).

² Taux de survie (%) = $100(N_p/N_{pi})$; NP_i et NP_f = nombre de poissons au début et à la fin de l'expérience.

³ Gain de poids relatif (%) = $100(Pm_f - Pm_i)/Pm_i$.

⁴ Gain de poids (g/j/ind) = $(Pm_f - Pm_i)/(\text{durée de l'expérience en jour})$.

⁵ Taux de croissance spécifique (%) = $100 (dt)^{-1} \ln (Pm_f/Pm_i)$; dt : durée de l'expérience (j).

⁶ Taux de conversion alimentaire = (Quantité d'aliment ingérée rapportée à la matière sèche)/(Biomasse produite).

⁷ Ration alimentaire, exprimée en g/jour.

⁸ Coefficient d'efficacité protéique = (Biomasse produite)/(protéines ingérées).

⁹ Coût unitaires alimentaires = TCA.(prix d'un Kg d'aliment).

Les analyses statistiques montrent que seul le lot nourri avec le régime A₃₀ diffère significativement des autres ($P < 0,05$).

Les taux de croissance spécifiques (TCS) calculés varient entre 2,46 % et 2,10 % respectivement chez les poissons nourris avec le régime A₀ et le régime comprenant 30 % de farine de tomate. Il n'y pas eu de différence significative entre les régimes A₀, A₁₀ et A₂₀ ($P > 0,05$).

Pour les lots recevant les régimes alimentaires A₀, A₁₀ et A₂₀, le taux de conversion alimentaire est compris entre 1,48 et 1,56 kg de nourriture sèche par kg de poids frais produit. Pour le lot nourri avec le régime A₃₀, le TCA est de 2,11 et diffère significativement ($P < 0,05$) des autres.

La digestibilité apparente des protéines (Tableau III) a été bonne pour tous les régimes expérimentaux, variant entre 73,69 et 90,11 %. La digestibilité des protéines du régime A₃₀ est toutefois inférieure à celle des autres régimes.

Le coefficient d'utilisation digestive apparent de la matière sèche semble par contre être plus nettement influencé par le pourcentage d'incorporation de la farine de tomate. Les valeurs les plus élevées sont obtenues avec le régime témoin (71,44 %) alors que le régime A₃₀ donne des valeurs plus faibles (53,36 %).

Les résultats des analyses biochimiques des poissons nourris avec les quatre régimes alimentaires expérimentaux sont représentés dans le tableau IV.

Les teneurs relatives en eau des poissons en fin d'expérience ont diminué avec tous les régimes comparativement à l'échantillon de départ tandis que les teneurs corporelles en protéines et cendres ont augmenté mais aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été mise en évidence. En ce qui concerne la teneur en lipides, les résultats statistiques montrent que les poissons du lot A₃₀ présentent la teneur la plus faible comparés à ceux nourris avec les

régimes A₀, A₁₀ et A₂₀ qui semblent être plus gras en fin d'expérience qu'en début d'expérience.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence, dans les conditions expérimentales réalisées, la possibilité d'incorporer la farine de tomate jusqu'à 20 % dans un régime alimentaire de base pour le grossissement du Tilapia. En effet, la substitution du tourteau de soja et du maïs par la farine de tomate dans une telle proportion n'affecte aucunement les performances de croissance ni l'efficacité de transformation alimentaire chez ce poisson. Au-delà de ce seuil, une réduction nette de la croissance et une mauvaise transformation alimentaire fait augmenter le taux de conversion alimentaire. Richter *et al.* (2003) réussirent à incorporer, sans conséquences négatives sur la croissance d'*Oreochromis niloticus*, un seuil de 10 % de la farine de feuille de moringa. Ces mêmes auteurs ont montré que l'incorporation de 20 % de cette matière, diminue la croissance de 73 % par rapport à l'aliment témoin. Cette mauvaise transformation alimentaire, liée au taux de la matière végétale incorporée, dépend selon Keembiyehetty et De Silva (1993) et Yousif *et al.* (1994) de certains mécanismes déterminant l'efficacité de digestibilité et d'assimilation causés par la forte teneur en fibres (cellulose). De plus la présence de facteurs antinutritionnels dans les matières d'origines végétales affecte directement (inhibiteurs de trypsine, acides phytiques) ou indirectement (fibres, tannins, glucosinolates), la capacité digestive des poissons (Liener, 1989, *in* Francis *et al.*, 2001). En effet, l'efficacité d'un régime dépend non seulement de sa composition chimique, de son appétence, mais aussi de sa capacité à être digéré et absorbé à travers la muqueuse intestinale.

Tableau IV: Composition biochimique de la carcasse des poissons en début et fin d'expérience. Les résultats sont exprimés en: Moyenne $\pm$ ESM de trois répétitions¹.

Composition (%)	Etat initial	Etat final (Régimes alimentaires)			
		A ₀	A ₁₀	A ₂₀	A ₃₀
Teneur en eau	73,19	72,39 $\pm$ 0,26 ^a	71,94 $\pm$ 0,66 ^a	72,81 $\pm$ 0,45 ^b	72,97 $\pm$ 0,95 ^b
Protéines	15,93	16,13 $\pm$ 0,61	16,41 $\pm$ 0,92	16,09 $\pm$ 0,87	16,00 $\pm$ 1,23
Lipides	5,84	6,89 $\pm$ 0,32 ^a	6,29 $\pm$ 0,19 ^a	6,34 $\pm$ 0,21 ^a	5,71 $\pm$ 0,56 ^b
Cendres	4,09	4,27 $\pm$ 0,48	4,66 $\pm$ 0,73	4,16 $\pm$ 1,08	4,62 $\pm$ 0,86
IHS ²		1,67 $\pm$ 0,09 ^a	1,62 $\pm$ 0,13 ^a	1,53 $\pm$ 0,08 ^b	1,46 $\pm$ 0,23 ^b

¹ Sur chaque ligne, les valeurs (moyenne $\pm$ ESM, $n = 3$) affectées par des lettres différentes, sont significativement différentes ($P < 0,05$), test de Duncan. L'absence de lettre a, b, c et d sur une même ligne indique une absence de différence significative ($P > 0,05$).

² Indice hépato-somatique = poids du foie / poids du corps éviscéré.

La digestibilité des protéines a été élevée pour tous les régimes. Toutefois il ressort de ces résultats que le tilapia digère avec une efficacité similaire les protéines provenant du tourteau de soja et celles de la farine de tomate, du moins dans les concentrations respectives qui ont donné de bonnes performances de croissance, à savoir les régimes A₁₀ et A₂₀ contenant respectivement 10 % et 20 % de la FT. Cette capacité d'accepter divers aliments et déchets est à la base de la haute performance de ce poisson en pisciculture.

Les valeurs d'efficacité alimentaire et de digestibilité de notre étude sont légèrement supérieures à celles obtenues par Mbahinzireki *et al.* (2001) chez la même espèce, nourrie avec des régimes contenant différents taux d'inclusion de la farine de coton. En effet, les CUDs protéiques trouvés par ces auteurs variaient de 88,7 % pour le régime témoin à 69,8 % pour une incorporation de 58 % de la farine de coton. Cependant, nos valeurs sont inférieures à celles rapportées par El-shafai *et al.* (2004) qui avaient calculé un CUD protéique de 91,2 %, chez le Tilapia du Nil nourri avec un régime contenant 20 % de la lentille d'eau (*Lemna minor*). Compte tenu de ces résultats, nous pensons que les effets anti-protéases, souvent observés suite à la présence de différents facteurs anti-nutritionnels, n'ont pas influencé de manière significative la digestibilité des protéines, jusqu'à un niveau d'incorporation de 20 % de farine de tomate, dans notre étude.

Les teneurs en facteurs antinutritionnels dans les régimes testés ont montré une remarquable corrélation avec la quantité de matières végétales incluses dans leurs formulations. Il est évident que les matériaux dérivés de plantes contiennent souvent plus d'un facteur anti-nutritionnel, rappelons que tous n'ont pas pu être dosés dans cette étude. La littérature disponible ne fournit pas les limites de tolérance de tilapia aux facteurs antinutritionnels analysés, bien que Riche et Garling (2004, *in* Denstadli *et al.*, 2006) ont montré chez le Tilapia, que jusqu'à 2,6 %, d'acide phytique, les performances de croissance ne sont pas affectées. Ainsi, nous pouvons nous permettre de penser que les valeurs obtenues, pour les régimes témoin, A₁₀ et A₂₀, respectent les normes de tolérance de cette espèce. Un autre paramètre important à considérer serait les interactions existantes entre certains facteurs antinutritionnels. Par exemple, les interactions saponines-tannins (Freeland *et al.*, 1985 *in* Francis *et al.*, 2001), tannins-lectines (Fish et Thompson, 1991 *in* Francis *et al.*, 2001), et tannin-cyanogène (Goldstein et Spencer, 1985 *in* Francis *et al.*, 2001). En effet, les tannins sont connus pour interagir avec d'autres facteurs antinutritionnels, ce qui pourrait éventuellement annuler leur action inhibitrice.

Par ailleurs, les phytates entraînent une forte diminution de la digestibilité des protéines par la formation d'un complexe acide phytique-protéine qui

est indigestible chez les monogastriques (NRC, 1993; Febes *et al.*, 2001) et provoque une diminution de la biodisponibilité du phosphore (Liener, 1989 *in* Francis *et al.* 2001). Ce macro-minéral est de première importance chez les poissons, car il intervient dans la croissance osseuse, le métabolisme énergétique et entre dans la constitution de plusieurs co-enzymes (NADP⁺, co-enzyme A ...). De plus les phytates, en se complexant au minéraux bivalents (Ca²⁺, Mg²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺...) diminuent et bloquent leurs utilisations (Lo *et al.*, 1981; Duffus et Duffus, 1991). Or, les minéraux sont des éléments indispensables pour la formation squelettique, le maintien de l'équilibre acido-basique et constituent aussi des co-facteurs pour la synthèse des hormones et des enzymes. Il a été rapporté qu'une dose de 0,5 % et 0,8 % d'acide phytique diminue fortement les performances de croissance respectivement chez la Truite (Spinelli *et al.*, 1983) et la Carpe (Hossain et Jauncey, 1993).

Contrairement aux protéines, une nette différence de CUDa de la matière sèche est observée entre les régimes. En effet, l'incorporation de la farine de tomate semble avoir diminué le CUDa du régime; plus on en rajoute, plus le CUDa diminue. Ceci serait dû à la présence des fibres non digestibles par les enzymes propres du poisson, ce qui réduirait même la digestibilité des autres nutriments du régime (Shiau, 1997). Comparant nos résultats à ceux obtenus par El-shafai *et al.* (2004), nous remarquons que les CUDa de la matière sèche (soit 53-71 %) sont inférieurs à ceux obtenus chez les juvéniles du Tilapia nourris avec des régimes où 40 % de la lentille d'eau étaient incorporés (soit 71-77 %). Ainsi pensons-nous qu'un taux d'inclusion supérieur à 20 % de ce sous-produit (FT) dans des régimes réduit sensiblement les performances d'utilisation de l'aliment par les poissons.

L'analyse biochimique de l'aliment A₃₀ (Tableau II) montre qu'il est le plus riche en fibres (14,17 %) ce qui expliquerait la déficience de performance de croissance chez le lot nourri avec cet aliment. En effet, Anderson *et al.* (1984) ont montré chez le Tilapia du Nil, une réduction de la performance de croissance, de l'efficacité protéique, de l'efficacité de la transformation alimentaire et de la teneur en lipides dans les carcasses des poissons nourris avec un aliment contenant plus de 10 % de fibres. Des résultats similaires ont été observés par Hilton *et al.* (1983) chez la Truite nourrie avec un régime contenant 10 % de fibres. Ces composés peuvent agir en modifiant l'activité des enzymes digestives par les phénomènes d'absorption et d'immobilisation (Richter *et al.*, 2003). Ils peuvent se lier aux nutriments tels que les lipides, les protéines (Shah *et al.*, 1982; Ward et Reichert, 1986) et les minéraux (Ward et Reichert, 1986). Un autre mode d'action des fibres, qui pourrait expliquer la diminution de la croissance chez le lot

A₃₀, est qu'elles accélèrent le transit gastro-intestinal (Jobling, 1980; De Silva et Owoyemi, 1983). Ceci se traduit par une réduction du temps de séjour des nutriments dans le tractus digestif, d'où une faible efficacité digestive des enzymes et par suite une diminution de l'absorption de ces nutriments (Shiau, 1997).

Les profils en acides aminés des protéines des différents régimes expérimentaux (Tableau II) est théoriquement satisfaisant quand on le compare aux besoins du Tilapia en général (Santiago et Lovell, 1988). Toutefois on peut constater que l'incorporation de 30 % de la farine de tomate dans le régime diminue de façon remarquable la concentration de certains acides aminés indispensables tels que la lysine, le méthionine, le thryptophane et la phénylalanine. Ceci pourrait expliquer la diminution des performances de croissance chez les lots nourris avec ses régimes. En effet Ronyai *et al.* (2002) et Fagbenro (2004) ont rapporté que la déficience en un ou plusieurs acides aminés limite la synthèse protéique et affecte la croissance des poissons. Des résultats similaires ont été observés par Fiogbé *et al.* (2004) chez le tilapia du Nil nourris avec des régimes contenant de forte teneur en *Azolla microphylla*, fougère aquatique.

Bien que le lot A₃₀ présente la plus faible performance de croissance, il présente une ration alimentaire identique à celle des lots recevant les autres régimes. Etant donné que l'alimentation des poissons, au cours de cette expérience, se fait à satiété (*ad-libitum*), il est fort probable que la faible teneur en énergie digestible du régime A₃₀, causée par la teneur élevée en fibres, induit une augmentation de la prise alimentaire chez le poisson pour satisfaire ses besoins en énergie. Il s'agit d'une réponse physiologique, qui dépend de la biodisponibilité de l'énergie digestible et donc de la nature de l'énergie alimentaire, à travers laquelle le poisson régule son ingéré afin de consommer une quantité constante d'énergie digestible pour couvrir ses besoins. Pour expliquer comment les poissons perçoivent la différence en densité d'énergie digestible des aliments et comment ces perceptions influent sur le comportement alimentaire, De Silva et Owoyemi (1983) rapportent que chez le Tilapia, un aliment riche en fibres (diminution de l'énergie digestible) induit une accélération du transit gastro-intestinal et diminue, ainsi, le temps de la vidange gastrique. Ceci induit des consommations accrues et un retour plus rapide à l'appétence (Riche *et al.*, 2004). Une telle réponse a été observée chez le Tilapia (Falaye et Jauncey, 1999), chez le poisson chat (Fagbenro, 1995) et chez la Truite (Boujard et Médale, 1994).

L'analyse de la composition biochimique de la carcasse des poissons nourris avec les aliments expérimentaux a bien confirmé qu'un régime alimentaire riche en matière végétale entraîne une

diminution de la teneur en lipides et en protéines dans les carcasses des poissons. Des résultats similaires ont été observés par Richter *et al.* (2003) chez le Tilapia du Nil et par Siddhuraju et Becker (2001) chez la Carpe commune nourrie avec des régimes contenant des matières premières d'origine végétale à des taux assez élevés.

L'objectif de notre étude semble avoir été atteint pour l'un des aliments testés (A₂₀). Une telle substitution permet de gagner 18,87 % sur le prix de l'aliment et donc un abaissement de 15,18 % du coût de production ce qui aurait un impact positif sur la gestion financière d'une ferme aquacole.

Ces résultats devront être confirmés à grande échelle et sur une durée importante pour s'assurer de leur fiabilité à long terme et dans des conditions d'élevage de production.

Remerciement : Nous remercions Monsieur Patrick Kestement, Professeur aux Facultés Universitaire Notre Dame de la Paix (FUNDP) de Namur (Belgique), Responsable de l'Unité de Recherches en Biologie des Organismes (URBO) pour m'avoir permis d'analyser les facteurs antinutritionnels dans son laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- Absi A., 1998 - Contribution à l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets de seiche et de poule sur les performances zootechniques du poulet de chair. Thèse de Doctorat en médecine vétérinaire. Ecol. Nat. Med. Vét. Sidi Thabet., 78 p.
- Aganda A.A., Mosase K.W., 2001- Tannin content, nutritive value and dry matter digestibility of *Lonchocarpus capassa*, *Zizyphus mucronata*, *Sclerocarya birrea*, *Kirkia acuminata* and *Rhus lancea* seeds. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 91, 107-113.
- Anderson J., Jackson A.J., Matty A.J., Capper B.S., 1984 - Effects of dietary carbohydrate and fiber on the Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 37, 303-314.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1999 - In: Cunniff P. (Ed), Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 16th edition. AOAC, International, Washington, DC. 1141 p.
- Appler H.N. and Jauncey K., 1983 - The utilization of a filamentous green alga (*Cladophora glomerata* (L) Kutzin) as a protein source in pelleted feeds for *Sarotherodon* (Tilapia) *niloticus* fingerlings. *Aquaculture*, 30, 21-30.
- Basha S.M.M., Roberts R.M., 1977 - A simple colorimetric method for the determination of tryptophan. *Ana. Biochi.* 77, 378-386.

- Bergmeyer H.U., 1965. - Methods of Enzymatic Analysis. Academic Press: New York, 555 p.
- Blum J.C., Bourdons C., Lebas F. et Cabrera M.C., 1984 - L'alimentation des animaux monogastrique. INRA. Edition Durant SA. 282 p.
- Boujard T. and Médale F., 1994 - Régulation of voluntary feed intake in juvenile rainbow trout fed by hand or by self-feeders with diets containing different protein/energie ratio. *Aqu. Livi. Res.*, 7, 211-215.
- Cavalheiro J.M.O., Oliveira E.S. and Pushkar S.B., 2006 - Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus) feed. *Bioresource Technology*, 98, 602-606.
- Davies S.J., Mc connell S. and Bateson R.I., 1990 - Potential of rapeseed meal as an alternative protein source in complete diets for Tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 87, 145-154.
- Denstadli V., Skrede A., Krogdahl A., Sahlstrom S. and Storebakken T., 2006 - Feed intake, growth, feed conversion, digestibility, enzyme activities and intestinal structure in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed graded levels of phytic acid. *Aquaculture*, 256, 365-376.
- De Silva S.S. and Owoyemi A.A., 1983 - Effect of dietary quality on the gastric evacuation and intestinal passage in *Sarotherodon mossambicus* (Peters) fry. *J. Fish Biol.* 23, 347 - 355.
- Duffus C.M. and Duffus J.H., 1991 - In: D'Mello F.J.P., Duffus C.M., Duffus J.H. (Eds), Toxic substances in crop plants (R.S.C.), Thomas Graham House, Science Park, Cambridge CB4 4WF, Cambridge, p. 22-48.
- El-Sayed A.F.M., 1990 - Long term evaluation of cotton seed meal as a protein source for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 84, 315-320.
- El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Verreth J.A.J., Schrama J.W., Gijzen H.J., 2004 - Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquacult. Res.*, 35, 574-586.
- Fagbenro O.A., 1995 - Evaluation of heat-processed cocoa pod husk meal as an energy feedstuff in production diets for the Clariid catfish, *Clarias isheriensis* (Sydenham). *Aquaculture Nutrition* 1, 221-225.
- Fagbenro O.A., 2004 - Soybean meal replacement by roquette (*Eruca sativa* Miller) seed meal as protein feedstuff in diets for African Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), fingerlings. *Aquacult. Res.*, 35, 917-923.
- Falaye A.E. and Jauncey K., 1999 - Acceptability and digestibility by Tilapia *Oreochromis niloticus* of feeds containing cocoa husk. *Aquaculture Nutrition*, 5, 157- 161.
- FAO, 2003 - Etat de l'Aquaculture dans le monde. Circulaire sur les pêches n° 886, rév. 2, 114 p.
- Fasakin E.A., Serwata R.D. and Davies S.J., 2005 - Comparative utilization of rendered animal derived products with or without composite mixture of soybean meal in hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* X *Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 249, 329-338.
- Febes C.I., Arias A., Hardisson A., Rodriguez-Alvarez C., Sierra A., 2001 - Phytic acid level in infant flours. *Food Chemistry*, 74, 437-441.
- Fernandez F., Miquel A.G., Cuplido L.R., Guinea J., Ross E., 1996 - Comparison of faecal collection methods for digestibility determinations in gilthead sea bream. *J. Fish Biol.*, 49, 735-738.
- Fiogbé E.D., Micha J.C., Van Hove C., 2004 - Use of a natural aquatic fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous-phytoplanktonophagous tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *J. Appl. Ichthyol.*, 20, 517-520.
- Folch J., Lees M, Stanley G., 1957 - A simple method of the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-509.
- Francis G., Makkar H.P.S., Becker K., 2001 - Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227.
- Furukawa A., Tsukahara H., 1966 - On the acid digestion of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 32, 502-506.
- Glencross B., Evans D., Hawkins W. and Jones B., 2004 - Evaluation of dietary inclusion of yellow lupin (*lupinus luteus*) kernel meal on the growth, feed utilization and tissues histology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 235, 411-422.
- Hilton J.W., Atkinson J.L. and Slinger S.J., 1983 - Effect of increased dietary fiber on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 40, 81 - 85.
- Hoffman L.C., Prinsloo J.F. and Rukan G., 1997 - Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Water SA*, 23: 181-186.
- Hossain M.A. and Jauncey K., 1993 - The effect of varying dietary calcium and magnesium levels on the nutrition of common carp, *Cyprinus carpio*. In: Kaushik S.J., Luquent P. (Eds), Fish nutrition in practice. Proceeding of international conference, Biarritz, France, June 24-27, 1991, 705 - 715.

- Jackson A.J., Copper B.S. and Matty A.J., 1982 - Evaluation of some plant proteins in complete diets for the Tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture*, 27, 97 – 109.
- Jobling M., 1980 – Gastric evacuation in plaie, *pleuronectes platessa* L.: effects of dietary energy level and food composition. *J. Fish Biol.*, 17, 187 – 196.
- Keembiyehetty C.N. and De silva S.S., 1993 – Performance of juvenile *Oreochromis niloticus* (L.) reared on diets containing cowpea (*Vigna catieng*) and blackgram (*Phaseolus mungo*) seeds. *Aquaculture*, 112, 207–215.
- Kenan E. and Chris G.C., 2005 – Fish meal replacement by plant and animal by-products in diets for the Australian short-finned eel, *Anguilla australis australis* (Richardson). *Aquaculture Research*, 36, (5), 445–454.
- Liebert F. and Portz L., 2005 – Nutrient utilization of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* fed plant based low phosphorus diets supplemented with graded levels of different sources of microbial phytase. *Aquaculture*, 248, 111 – 119.
- Lo G.S., Settle S.L., Steinke F.H. and Hopkins D.T., 1981 – Effect of phytate: Zinc molar ratio and isolated soybean protein on zinc bioavailability. *J. Nutr.*, 111, 2223–2235.
- Lovell R.T., 1988 – Use of soybean meal products in diets for aquaculture species. *Journal of Aquatic Products*, 2, 27–52.
- March J.G., Villacampa A.I., Grases F., 1995 - Enzymatic-spectrophotometric determination of phytic acid with phytase from *Aspergillus ficuum*. *Analytica Chimica Acta.*, 300, 269-272.
- Mbahinzireki B.B., Dabrowski K., Lee K.J., El-Saidy D. and Wisner E.R., 2001 - Growth, feed utilization and body composition of Tilapia (*Oreochromis sp.*) fed cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition*, 7, 189-200.
- Middleton T.F., Ferket P.R., Boyd L.C., Daniels H.V. and Gallaghen M.L., 2001 - An evaluation of co-extruded poultry silage and culled jewel sweet potatoes as a feed ingredient for hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*). *Aquaculture*, 198, 269 – 280.
- NRC, (National Research Council), 1993 - Nutrient requirements of warmwater fishes and shellfishes, revised edition. National Academy Press, Washington, D.C., USA. 225 p.
- Olvera-Novoa M.A., Silvia Campos G., Mirna Sabido G. and Martinez Palacios C.A., 1990 - The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*, 90, 291–302.
- Pouomogne V., Takam G. and Pouomogne J.B., 1997 - A preliminary evaluation of cacao husks in practical diets for juvenile Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 156, 211–219.
- Riche M., Haley D.I., Oetker M., Garbrecht S. and Garling D.L., 2004 – Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return in Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 234, 657 – 673.
- Richter N., Siddhuraju P. and Becker K., 2003 - Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 217, 599 – 611.
- Rodriguez-Serna M., Olvera-Nova M.A. and Carmona-Osalde C., 1996 – Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. *Aquaculture Research*, 27, 67-73.
- Rojas J.B.U. and Verreth J.A.J., 2003 - Growth of *Oreochromis aureus* fed with diets containing graded levels of coffee pulp and reared in two culture systems. *Aquaculture* 217, 275–283.
- Rónyai A., Csengeri I., Váradi L., 2002 - Partial substitution of animal protein with full-fat soybean meal and amino acid supplementation in the diet of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *J. Appl. Ichthyol.* 18, 682–684.
- Sadiku S.O.E. and Jauncey K., 1995 - Soybean flour-poultry meat meal blends as dietary protein source in practical diets of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Asian Fish. Sci.* 8, 159 – 168.
- Santiago C.B. and Lovell R.T., 1988 - Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *J. Nutr.*, 118, 1540-1546.
- Shah N., Atallah M.T., Mahoney P.R. and Pellet P.L., 1982. - Effect of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *J. Nutr.*, 112, 658 - 666.
- Shiau S.Y., 1997 – Utilisation of carbohydrate in warmwater fish with particular reference to Tilapia, *Oreochromis niloticus* X *O. aureus*. *Aquaculture*, 151, 79 – 96.
- Shiau S.Y., Chuang J.L. and Sun C.L., 1987. - Inclusion of soybean meal in Tilapia (*Oreochromis niloticus* X *O. aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture*, 65, 251-261.
- Siddhuraju P. and Becker K., 2001 - Preliminary nutritional evaluation of mucuna seed meal (*Mucuna pruriens varutilis*) in common carp (*Cyprinus carpio* L.): an assessment by growth performance and feed utilization. *Aquaculture*, 196, 105–123.
- Spinelli J., Houle C.R., Wekell J.C., 1983 – The effect of phytates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium. *Aquaculture*, 30, 71-83.

- Tacon A.G.J., 1996 - Feeding tomorrow's fish. *World aquaculture*, 27, (3), 20-32.
- Wang Y., Guo J.L, Bureau D.P, Cui Z.H., 2006 - Replacement of fish meal by rendered animal protein ingredients in feeds for cuneate drum (*Nibea miichthioides*). *Aquaculture*, 252, 476-483.
- Ward A.T. and Reichert R.D., 1986 – Comparison of effect of cell wall and hull fibre canola and soybean on the bioavailability for rats of minerals, protein and lipid. *J. Nutr.*, 116, 233-241.
- Watanabe T., 2002 – Strategies for further development of aquatic feeds. *Fish. Sci.* 68, 242–252.
- Wolf A., Watson M., Wolf N., 2003 – Digestion and dissolution methods for P, K, Ca Mg and trace elements. In: J. Peters (Editor), *Recommended Methods of Manure Analysis (A3769)*, University of Wisconsin-Madison, 30-47.
- Yousif O.M., Alhadhrami G.A. and Pessarakli M., 1994 - Evaluation of deshydrated alfalfa and salt bush (*Atriplex*) leaves in diets for Tilapia (*Oreochromis aureus* L.) *Aquaculture*, 126, 341–347.
- Zhou Y., Yang H., Hu H., Liu Y., Mao Y., Zhou H., Xu X., Zhang F., 2006 - Bioremediation potential of the macroalga *Gracilaria lemaneiformis* (Rhodophyta) integrated into feed fish culture in coastal waters of north China. *Aquaculture*, 252, 264-276.